Molchanov, V.F. (2022). Ensuring accuracy in conditions automated production. *The Second Special Humanitarian Issue of Ukrainian Scientists. European Scientific e-Journal, 3* (18), 78-85. Ostrava: Tuculart Edition. (in Ukrainian)
Молчанов, В.Ф. (2022). Забезпечення точності в умовах автоматизованого виробництва. *The Second Special Humanitarian Issue of Ukrainian Scientists. European Scientific e-Journal, 3* (18), 78-85. Ostrava: Tuculart Edition.

DOI: 10.47451/inn2022-04-03

The paper will be published in Crossref, ICI Copernicus, J-Gate, ISI, Academic Resource Index ResearchBib, Internet Archive, Google Scholar, eLibrary, Ukrainian National Library databases.



Vitaly F. Molchanov, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, awarded with "Excellent in Education Of Ukraine", "For Services to the City" of the 2nd and 3rd degrees, Member of the Association of Engineering Technologists of Ukraine, Department of Engineering Technology and Welding, Dniprovsk State Technical University, Kam'yansk, Ukraine.
ORCID: 0000-0003-2807-5875.

Ensuring accuracy in conditions automated production

Abstract: Modern machine-building production provides for increased accuracy, reliability and durability in the production of machine-building products for the national economy. In this regard, it is necessary to significantly improve the accuracy and reliability of metal-cutting equipment. The article is devoted to the actual issue of ensuring the accuracy and reliability of metal cutting equipment in the conditions of automated production. The aim of the study is to increase the accuracy, reliability and durability of machine-building products. In the course of the studies the analysis of the main directions of ensuring accuracy in automated production has been conducted. The carried out theoretical studies on the influence of individual input variables of the technological system on the processes that take place during machining, allow to calculate the expected accuracy at the design stage of operations and to determine methods of its provision.

Keywords: automated production, precision machining, error, adaptive-program control, adjustment of technological system.



Віталій Федорович Молчанов, кандидат технічних наук, доцент нагороджений відзнаками «Відмінник освіти України», «За Заслуги перед містом» ІІ та ІІІ ступеня, член асоціації технологів машинобудівників України, Кафедра технології машинобудування та зварювання, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна. ORCID: 0000-0003-2807-5875.

Забезпечення точності в умовах автоматизованого виробництва

Анотація: Сучасне машинобудівне виробництво передбачає підвищення точності, надійності і довговічності при випуску машинобудівної продукція для народного господарства. У зв'язку з цим, необхідно істотно підвищувати точність і надійність металорізального обладнання та устаткування. Стаття присвячена актуальному питанню забезпечення точності і надійності металорізального обладнання та устаткування в умовах автоматизованого виробництва. Мета дослідження – підвищення точності, надійності і довговічності продукції машинобудівного виробництва. В процесі досліджень проведено аналіз основних напрямів забезпечення точності в автоматизованому виробництві. Виконані теоретичні дослідження по вивченню впливу окремих вхідних перемінних параметрів технологічної системи на процеси, що протікають при механічній обробці, дозволяють на стадії проектування операцій розрахувати очікувану точність і визначити методи її забезпечення.

Ключові слова: автоматизоване виробництво, точність механічної обробки, похибка, адаптивно-програмне управління, настроювання технологічної системи.



Введення

Сучасне машинобудівне виробництво передбачає підвищення точності, надійності і довговічності при випуску машинобудівної продукція для народного господарства. У зв'язку з цим, необхідно істотно підвищувати точність і надійність металорізального обладнання та устаткування. Мета дослідження – підвищення точності, надійності і довговічності продукції машинобудівного виробництва. Питання підвищення точності і надійності металорізального обладнання та устаткування можна вирішувати автоматизацією виробничих процесів. Для цього широко впроваджуються програмно-керовані верстати, гнучкі виробничі системи, роторні лінії, автоматичні дільниці і заводи. В умовах автоматизованого виробництва задана точність має бути забезпечена самою технологічною системою. Проблема забезпечення точності - одна з найбільш складних. Для її вирішення необхідна розробка спеціальних апаратурних засобів і систем управління технологічними операціями, створення нових підходів до аналізу процесів формоутворення поверхонь.

При виконані аналізу основних напрямів забезпечення точності в автоматизованому виробництві, особлива увага приділена питанням забезпечення точності розмірів і відхилень форми поверхонь на фінішних операціях (*Молчанов, 2021*).

Аналіз основних напрямів забезпечення точності в автоматизованому виробництві

Вибір способів досягнення точності обробки і стабільне забезпечення параметрів якості деталей – складне і багатоваріантне завдання. Для його вирішення необхідно розглядати технологічний процес як систему, усередині якої існують складні причино-наслідкові і тимчасові зв'язки (*Леонов, 1983*; *Новоселов, 1979*). Представлення технологічних процесів, як складних систем, обумовлює необхідність детального аналізу окремих операцій, вивчення їх логічної структури і взаємозв'язку, визначення законів перетворення параметрів і якості об'єкту виробництва в умовах трансформації перетворюючої системи зі зміною часу. Будь-який технологічний процес, як система, може бути представлений у виді «чорної скриньки», на вході якої матеріал, енергія і інформація, на виході – результат. Деталь, отримана на виході технології, відрізняється масою, енергією, змістом і кількістю розміщеній в ній інформації. Відмінність інформації полягає у зміні форми заготовки (*Смирнов, 1982*). Інформація, що поступає на вхід системи (технології), задається у вигляді креслення і представлена в умовному (символьному) виді. На виході – в «натуральному», тобто у виді готової деталі, яка має певні геометричні розміри і форму окремих поверхонь. Точність обробки є поняттям комплексним і характеризується відхиленнями реально отриманих поверхонь відносно геометричного еталону (в даному випадку креслення). Таким чином, процес формування нової поверхні, як функції технології з інформаційних позицій, полягає в перенесенні геометричної інформації креслення з символьного виду в натуральний. Фізична суть процесу полягає в зміні геометричних розмірів і форми

вихідної заготовки в результаті зрізання або нанесення матеріалу під дією підведених енергетичних потоків. У автоматизованих виробництвах передумовою процесу утворення нових поверхонь є процес перетворення інформації, пов'язаний з її перенесенням на проміжні носії (кулачки, копіри, управляючі програми і тому подібне).

У загальному виді основним функціям технології процесу відповідають два етапи:

I – перетворення заданої геометричної інформації з символьної форми (креслення) в натуральну (деталь);

2 – перенесення отриманої інформації на заготовку (*Смирнов, 1982*).

Наприклад, на токарно-копіювальному верстаті креслення деталі (символьна інформація) перетворюється в копір, а перенесення інформації відтворюється в процесі точіння.

При обробці партії заготовок на заздалегідь настроєному верстаті по величині заданого на кресленні розміру встановлюється положення інструменту відносно баз (перетворення інформації) і виконується механічна обробка (перенесення інформації). На кожному з етапів технології виникають похибки. При перенесенні інформації на проміжні носії виникає похибка, яка визначається точністю виготовлення еталону (наприклад, копіру), якістю апроксимації при складанні управляючих програм, статичною похибкою настроювання устаткування і тому подібне. Перетворення геометричної інформації із символьного виду в натуральний проходить шляхом керованого використання еталонів геометричних елементів (прямі лінії, площини, кола, тіла обертання), які дозволяють відтворити можливості технологічного устаткування. Похибки, що виникають внаслідок перетворення геометричної інформації, називають кінематичними.

До них відносяться похибки, обумовлені приближенням схем обробки до реального геометричного еталону (наприклад, спіраль Архімеда при врізному шліфуванні). Істотне джерело похибок – енергетичні потоки, які виникають (або підводяться) при перенесенні інформації. Похибки, утворенні в результаті дії енергетичних потоків, можуть мати зворотний і незворотний характер. Зворотні – це похибки, які зникають після закінчення процесу обробки (до них відносять пружні деформації, вібрацію вузлів обладнання та ін.). До незворотних відносяться знос вузлів верстату та інструменту, зниження динамічних характеристик верстатів і тому подібне. Джерелом похибок можуть бути і контрольні операції. Точність їх виконання залежить від роздільної здатності вимірювальних приладів і похибок прийнятої схеми вимірів.

Результуючу похибку виготовлення деталі Δ_Σ для технологічного процесу з n операцій можна представити у вигляді суми векторів:

$$\Delta_\Sigma = \sum_{i=l}^{n} \left(\Delta_{p\text{н}i} + \Delta_{npi} + \Delta_{ki} + \Delta_{eoi} + \Delta_{e\text{н}oi} + \Delta_{ko\text{н}i} \right), \quad (1)$$

де:

$\Delta_{n\text{н}i}$ – похибка, що вноситься проміжним носієм інформації;

Δ_{npi} – похибки, що виникають при перетворенні інформації з проміжного носія в натуральну форму;

$\Delta_{\kappa i}$ – кінематичні похибки способу обробки;

$\Delta_{еоі} + \Delta_{енoі}$ – відповідно зворотні і незворотні похибки, що виникають від дії енергетичних потоків;

$\Delta_{коні}$ – похибки контролю.

З точки зору кібернетики, процеси утворення поверхонь умовно можна розділити на керовані (що виконуються за замкнутою схемою з можливістю внесення необхідних корекцій) і некеровані (що не дозволяють впливати на результат вже початого процесу).

У керованих технологіях точність виготовлення деталі може досягатися за рахунок створення систем із зворотними зв'язками (адаптивних), які базуються на інформацію про геометричні параметри виробу (датчики і прилади контролю розмірів), а також на основі інформації про енергетичні характеристики процесу (потужності, сили, пружні і температурні деформації). Проте відсоток устаткування, оснащеного системами адаптивного управління низький (*Альперович та Чубуков, 1988*). На практиці технологічні процеси бажано проводити на керованому устаткуванні за некерованою схемою, як найбільш простою і яка не вимагає додаткових капіталовкладень.

В даному випадку використовується екстенсивний підхід:

- виконують технологічні коригування інформації на проміжному носії (відпрацювання управляючих програм для компенсації складових похибок формули (*Альперович та Чубуков, 1988*));
- збільшують жорсткість і точність устаткування;
- знижують інтенсивність режимів обробки;
- вводять в технологічний процес додаткові операції обробки і проміжного контролю.

Тобто, управління виконується, але за рахунок збільшення часу циклу виготовлення і вартості продукції. В умовах багатономенклатурного виробництва, що вимагає малолюдних або безлюдних технологій, таке управління неприйнятне.

Перспективним направленням в умовах багатономенклатурного виробництва є спільне використання обох способів, тобто створення систем комбінованого адаптивно-програмного управління (*Альперович та Чубуков, 1988*).

Істотні резерви інтенсифікації технологічних процесів і управління точністю має устаткування, яке працює по «жорсткій програмі».

Суть такого управління полягає в тому, щоб використовувати одні джерела похибок («негативні ефекти») супутні будь-якому способу обробки, для усунення інших джерел похибок, тобто використовувати «протиріччя», наявні усередині окремої операції або в ході усього технологічного процесу. Величину похибок, виникаючих від дії енергетичних потоків (сил різання, вібрації, температури), можна зменшити або компенсувати не лише екстенсивним шляхом (збільшенням жорсткості верстата, віброізоляцією, створенням стабільних температурних умов в приміщенні). Так, зниження впливу пружних деформацій заготовок можна компенсувати штучним внесенням похибок певної величини на проміжний носій інформації. Вібрації, будучи загальноприйнятим в технології машинобудування «негативним чинником», за певних умов можна компенсувати іншими джерелами похибок.

Стратегія управління точністю технологічних процесів і окремих операцій зводиться до того, щоб результуюча похибка деталі (формула 1) знаходилась в межах допуску.

Оскільки складові похибок – величини векторні, немає необхідності зменшувати кожну з них. Досить вибрати такі поєднання похибок, при яких їх сума була б мінімальною, або знаходилась в межах допуску. Тобто, необхідно забезпечити такий закон зрізання (нанесення) матеріалу з оброблюваної заготовки, щоб утворилася поверхня, яка має мінімальне, або в допустимих межах відхилення від заданого еталону.

Таким чином, виконані теоретичні дослідження по вивченню впливу окремих вхідних змінних параметрів технологічної системи на процеси, що протікають при механічній обробці, дозволяють на стадії проектування операцій заздалегідь розрахувати очікувану точність і визначити методи її забезпечення (*Молчанов, 2021*).

Методи забезпечення точності

Для умов автоматизованого виробництва виникає два основних завдання:

а – настроювання технологічної системи на забезпечення заданих розмірів;

б – підстроювання системи з метою отримання заданих параметрів точності впродовж досить тривалого проміжку часу.

При рішенні першої задачі забезпечують точність взаємного розташування виконавчих механізмів верстата, заготовки, інструменту і пристосувань. На даний час застосовуються наступні методи настроювання верстатів: статичне настроювання, настроювання по пробних заготовках за допомогою робочого калібру і настроювання за допомогою універсального мірного інструменту по пробних заготовках (*Маталин, 2010*).

Статичні настроювання виконуються на нерухомому верстаті. Положення різальних інструментів відносно верстата вивіряють за допомогою калібрів, які розташовують на місці оброблюваної деталі. Для компенсації динамічних похибок настановні калібри виготовляють з поправкою. Розрахунковий розмір обчислюють по залежності:

$$L_{роз} = L_{дет} + \Delta_{попр}, \quad (2)$$

де:

$L_{дет}$ – розмір деталі, який має бути отриманий після обробки;

$\Delta_{попр}$ – поправка, що враховує динамічні похибки, які виникають в процесі обробки.

При настроюванні технологічної системи за допомогою робочого калібру, робиться регулювання взаємного розташування виконавчих механізмів верстата і інструменту, обробка пробної деталі, перевірка точності за допомогою калібру, яким користуються надалі при обробці виробу. Розглянутий метод настроювання не можна вважати оптимальним, оскільки він не забезпечує необхідне розташування первинного настроєного розміру по відношенню до поля допуску обробленої поверхні.

При настроюванні системи за допомогою універсальних мірних інструментів спочатку виконується статичне настроювання верстата, потім проводиться пробна обробка однієї або декількох заготовок, вимірюється розмір обробленої поверхні, вводиться корекція у взаємне положення заготовки і інструменту. Настроювання системи за допомогою універсальних мірних інструментів забезпечує оптимальне розташування настроєного розміру відносно поля допуску на оброблену поверхню.

Під впливом різних процесів, що відбуваються в самій технологічній системі, таких як знос інструменту, нагрів елементів верстата, зміна сил різання, відбувається зміна

розмірів оброблених поверхонь партії деталей. Поле розсіювання розмірів зміщується в поле допуску. Одночасно може змінюватися і середньоквадратичне відхилення розмірів.

Для забезпечення заданої точності в технологічній системі необхідне підстроювання, яке може здійснюватися після обробки партії заготовок, або після обробки кожної заготовки.

При другому методі забезпечується стабілізація розмірів виробів. Для його здійснення необхідна відповідна система числового програмного керування. При періодичному підстроюванні час між підстроюваннями $t_{під}$ може бути визначено залежністю:

$$t_{під} = \frac{(T_{дет} - 3\sigma_0 - \delta_n - 3\sigma_t - 2\delta_u) \cdot t_0}{\Delta L_{дет}}, (3)$$

де:

$T_{дет}$ – допуск на розмір деталі;

σ_0 – середньоквадратичне відхилення розміру деталі після настроювання системи;

σ_t – середньоквадратичне відхилення розміру у момент підстроювання системи;

δ_n – похибка настроювання системи;

δ_u – похибка вимірів розміру;

t_0 – основний час обробки поверхні;

$\Delta L_{дет}$ – середньостатистична зміна розміру при обробці однієї деталі.

При підстроюванні системи після обробки кожної заготовки величина підстроювального імпульсу X_n обчислюється за формулою:

$$X_{n_i} = X_{роз_i} + \Delta l_{\phi_{i-1}}, (4)$$

де:

$X_{роз_i}$ – розрахунковий підстроювальний імпульс, який визначаться за прогнозом зміни розміру при обробці заготовки;

$\Delta l_{\phi_{i-1}}$ – поправка, яка знаходиться по фактичному відхиленню розміру обробленої поверхні (*i-1*)-ої деталі.

Другий метод підстроювання може бути здійснений при обробці деталей на верстатах з ЧПК з системами управління, оснащених датчиками контролю розміру. При обробці на верстатах-автоматах, для реалізації методу окрім датчика контролю розміру в системі управління необхідно мати арифметико-логічне пристосування.

При обробці заготовок на верстатах з ЧПК вихідні параметри точності $Y(t)$ визначаються усією передісторією зміни дій $X(\tau)$, фізико-механічних властивостей заготовки $S(\tau)$, параметрів геометричної форми, розташування поверхонь і розмірів заготовки $G(\tau)$, а також режимів обробки $R(\tau)$, параметрів технологічної системи $Q(\tau)$ і інших неврахованих факторів $N(\tau)$ (*Косилова та Мещеряков, 1986*):

$$Y(t) = F_0[X(\tau); S(\tau); G(\tau); R(\tau); Q(\tau); N(\tau)]. (5)$$

Завдання забезпечення точності обробки в цьому випадку вирішується як відомими методами так і за допомогою спеціальних контрольних і діагностичних систем. Для

забезпечення точності обробки здійснюють контроль параметрів заготовки, що поступає на обробку, параметрів технологічного процесу, стану різального інструменту, технічного стану вузлів верстата, виконання управляючої програми, стану завантажувальних пристроїв, положення різальних кромок в системі координат верстата, фактичного розміру обробленої поверхні (*Валькова, 1986*).

З метою прискорення процесу настроювання технологічної системи широко застосовують настроювання інструментів і інструментальних блоків поза верстатом з наступним внесенням корекцій положення інструменту з урахуванням динамічних похибок, що виникають при обробці.

Таким чином, для підвищення точності обробки на чистових і доводних операціях необхідно використовувати системи автоматичного керування точністю і системи активного контролю, а саме: стабілізації швидкості різання при торцевій обробці; стабілізації потужності різання; стабілізації температури різання; управління пружними деформаціями при різанні; оптимізації управління токарної, фрезерної, шліфувальної обробки (*Папарев, 1984*).

При створенні таких систем виконується ідентифікація технологічних операцій, формулюються умови оптимального керування, розробляється апаратурне оформлення системи.

Дискусія

Актуальність дослідження напрямів забезпечення точності обробки поверхонь деталей стосується не тільки автоматизованих виробництв а і підприємств загального машинобудування. Особливу увагу слід приділяти питанням забезпечення точності розмірів і відхилень форми поверхонь на фінішних операціях при випуску машинобудівної продукція для народного господарства (*Молчанов, 2021*).

Висновки

Таким чином, проведений аналіз основних напрямів забезпечення точності в автоматизованому виробництві та виконані теоретичні дослідження по вивченню впливу окремих вхідних перемінних параметрів технологічної системи на процеси, що протікають при механічній обробці, дозволяють на стадії проектування операцій розрахувати очікувану точність і визначити методи її забезпечення. Застосування систем автоматичного управління дозволяє підвищити точність отримання розмірів в 1,3-1,6 рази, форми поверхонь в 1,5-2 рази; взаємного розташування поверхонь в 1,4-1,8 рази.



Список джерел інформації:

Альперович, Т.А. та Чубуков, А.С. (1988). *Управление прецизионным технологическим оборудованием гибких производственных систем*. Москва: ВИНИТИ. (російськ.)

Валькова, В.М. (1986). *Контроль в ГАП*. Ленинград: Машиностроение. (російськ.)

Косилова, А.Г. та Мещеряков, Р.К. (1986). *Справочник технолога-машиностроителя*. Москва: Машиностроение. (російськ.)

Леонов, С.Л. (1983). *Технологические предпосылки прогнозирования показателей круглого наружного врезного шлифования с разработкой имитационной модели процесса*. Автореф. дис. Одесса. (російськ.)

Маталин, А.А. (2010). *Технология машиностроения*. Санкт-Петербург: Лань. (російськ.)

Молчанов, В.Ф. (2021). *Методи підвищення точності при механічній обробці*. Т. 1. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка».

Молчанов, В.Ф. (2021). *Методи забезпечення точності для умов автоматизованого виробництва*. Краматорськ: ДДМА.

Новоселов, В.К. (1979). *Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке*. Саратов: Иэд-во Сарат. ун-та. (російськ.)

Папарев, Н.К. (1984). *Автоматизация типовых технологических процессов металлообработки*. Киев-Одесса: Вища школа. (російськ.)

Смирнов, А.И. (1982). *Анализ перспектив развития методов формообразования в машиностроении*. Москва: НИИмаш. (російськ.)